

# MOLINOS, NORIAS Y BATANES EN LA PENÍNSULA IBÉRICA DURANTE LA EDAD MEDIA

José Roldán Cañas

Académico Numerario

Discurso pronunciado el día 16 de junio de 2016, en la clausura del año académico 2015-2016

## RESUMEN

### PALABRAS CLAVE

Molinos hidráulicos.  
Norias.  
Batanes.  
Edad Media.  
Península Ibérica

Tanto en el mundo islámico como en el cristiano y durante la Edad Media, el agua jugó un papel muy importante, vinculado, principalmente, al riego en el primer caso y a los gremios y oficios manuales en el segundo, y siendo herederos de tecnologías orientales y romanas, respectivamente, que se mantienen y se mejoran.

Las obras y aprovechamientos hidráulicos se dedicaron a controlar y abastecer adecuadamente a ciudades y campos mediante elementos de captación, pozos, norias y azudes, de almacenamiento, aljibes y pilas, y de conducción, arquerías y qanats. De especial atención son las norias, en sus variantes de ruedas verticales y horizontales, destacando las norias de corriente o aceñas y las norias de sangre o saniyas.

Aunque, quizás, lo más destacado han sido las aplicaciones industriales de la energía hidráulica durante la Edad Media. En este aspecto, sobresalen los molinos en sus variantes de molinos de agua, molinos de sangre y molinos de mareas. Pero su uso harinero para la molienda de grano no ha sido la única, teniendo otras funciones como las de curtir pieles (batanes); forjar el hierro (ferrerías); y cortar troncos de madera (serrerías).

## ABSTRACT

### KEYWORDS

Watermills.  
Waterwheels.  
Fullers.  
Middle Ages.  
Iberian Peninsula.

As in the Islamic World as in the Christian World and during Middle Ages, water plays a very important role, linked mainly to irrigation in the first case and to guilds and manual crafts in the second case, and being heirs of Oriental and Roman technologies, respectively, which are maintained and improved.

Works and hydraulic exploitations were dedicated to control and adequate supply to cities and rural areas using elements of water catchment, wells, waterwheels or *norias* and weirs, of storage, tanks and piles, and of water conveyance, archways and *qanats*. Special attention is given to the waterwheels, with vertical or horizontal wheels, highlighting the stream *norias* or *aceñas* (watermills) and the blood *norias* or *saniyas*.

Although, perhaps, the industrial applications of water power have been the highlight during the Middle Ages. In this aspect, mills stand out, in their versions of watermills, blood mills and tide mills. But its use for grinding grain yielding flour has not been the only one, having other functions such as tanning leather (fullers); forge iron (forges); and cut wooden logs (sawmills).

Boletín de la Real Academia  
de Córdoba.

BRAC, 165 (2016)  
37-61

Nuestra Edad Media se la reparten dos mundos, el islámico y el cristiano, que coexisten y se superponen durante ocho siglos. En ambos mundos, la tecnología es inicialmente heredada, ya sea de la civilización romana ya sea de las civilizaciones orientales de las que bebe el Islam en su fase de expansión territorial.

En el mundo islámico, el agua, y la cultura a ella asociada, forman parte primordial de su historia y de su vida cotidiana. Es bien conocido el desarrollo del regadío en al-Andalus (Roldán-Cañas y Moreno-Pérez, 2010) pero, además, durante esta época el agua tuvo otros múltiples usos y significados de los que conviene recordar su carácter religioso, don divino y origen de la vida; simbólico, asociado a las abluciones que purifican cuerpo y alma; higiénico, con sentido personal y doméstico; medicinal; de transporte, de hombres y mercancías; poético, de inspiración para rapsodas, estético, constituyendo un elemento decorativo de palacios y jardines; y vital tanto para hombres como para plantas y animales (Roldán-Cañas *et al.*, 2008).

La ingeniería y la gestión del agua en al-Andalus se circunscribe en gran manera a la tecnología hidráulica asociada a los sistemas de riego, entendiendo como tales, además del riego propiamente dicho, los sistemas de captación y distribución de agua, los ordenamientos jurídicos para el reparto del agua y cualesquiera otros aspectos ligados a la aplicación del agua en la agricultura, ya que la tecnología hace referencia al desarrollo de las ideas técnicas ya se lleven éstas a cabo a través de objetos físicos o por medio de mecanismos sociales e institucionales (Glick, 1996).

En época medieval cristiana, el desarrollo tecnológico se vincula a los gremios y a los oficios manuales y artesanales: herreros, carpinteros, zapateros, labradores y, en un plano superior, los relacionados con la medicina y la arquitectura. Algunos historiadores consideran que incluso hay una pre-revolución industrial, fundamentalmente en la Baja Edad Media, siglos XI al XV, dado el avance que se hace en el control de diversas fuentes energéticas como la eólica y la hidráulica y también la de tracción animal (del Pino García *et al.*, 2011).

Los ingenios hidráulicos movidos por la fuerza del agua: molinos, batanes, martinetes, etc., tienen un gran desarrollo durante la Edad Media aunque su origen es claramente anterior. Igual sucede con las norias y aceñas y, en este caso, son los árabes los principales importadores y difusores de su tecnología (del Pino García *et al.*, 2011).

## EL MUNDO PRECURSOR

En época romana, y en los siglos previos al comienzo de la Edad Media, hubo un notable desarrollo de las grandes obras hidráulicas siendo las más sobresalientes los acueductos para la traída de agua a las ciudades o, incluso, las presas como las de Cornalbo y Proserpina en Mérida que con 2000 años son las de mayor antigüedad en España, aunque, con la misma técnica, los romanos construyeron canales y acequias para el regadío, termas y cisternas. También a ellos se debe el fundamento normativo referente al aprovechamiento del agua. Así, el agua se ha considerado, desde entonces, un bien público cuyo uso privado se ha permitido bajo una concesión específica para el fin solicitado. En el caso del riego, el derecho de uso del agua ha quedado unido a la tierra regada.

Ya en la Alta Edad Media, la época de dominio visigodo, entre los siglos V y VIII de nuestra era, se caracteriza, en lo relativo al riego, por una decadencia del regadío romano que, sin embargo, no llegó a desaparecer completamente pues San Isidoro de Sevilla (570-636 d.C.) cita en sus *Etimologías*, enciclopedia que recoge el saber del mundo hispano-romano de la Bética durante el periodo de dominio visigodo, artilugios específicos del riego (San Isidoro de Sevilla, 2004). Este es el caso, por ejemplo, de las norias que con seguridad tienen su origen en el Mediterráneo oriental. En efecto, según cita Pavón (1990), Filón de Bizancio (300-200 años a.C.) ya habla de aparatos para sacar agua en su libro *Pneumática* y Vitrubio describe cinco tipos diferentes de aparatos elevadores en su libro *Arquitectura* (Perrault, 1683), aunque ninguno de ellos se refiere a las ruedas movidas por tracción animal: el Tímpano; la Rueda de Cajones; la Maroma de Arcaduces; la Coclea de Arquímedes y la Bomba de Ctesibio. Como evidencia arqueológica se encuentra un mosaico descubierto en Apanea, cincuenta kilómetros al norte de la ciudad de Hama, Siria, fechado el año 469 d.C. (Viollet, 2007). Hama está situada en las orillas del río Orontes y conserva aún hoy norias una de las cuales tiene una inscripción en un pilar que la data en el año 1361 d.C.

También en el código *Liber Judiciorum*, que el rey visigodo Recesvinto promulga en el año 654 y que Fernando III tradujo a lengua romance como *Fuero Juzgo*, se habla de delitos relacionados con el robo de agua para los regadíos, y de las correspondientes penas para los infractores, y de otras normas legislativas sobre los molinos. En todos los fueros medievales, comenzando por el más antiguo, el de Castrojériz de finales del siglo X, se recogen normativas sobre los molinos: reglamentación del uso y reparto del agua, emplazamiento de los molinos de nueva creación, reparación de los viejos, cauces y nivel de las aguas, presas, días de funcionamiento, resolución de conflictos entre molineros y agricultores, etc. (Torres Delgado, 2007).

## OBRAS Y APROVECHAMIENTOS HIDRÁULICOS

---

En general, la desaparición del mundo romano supuso la anulación de muchas de las grandes obras hidráulicas, acueductos en su mayoría, que abastecían a las ciudades. Se recurre entonces a captaciones subterráneas a través de pozos practicados en acuíferos relativamente superficiales, a la construcción de aljibes para recoger el agua de lluvia y a la realización de azudas que elevaban y derivaban el agua de los ríos hacia depósitos de almacenamiento (González Tascón, 2008a). A medida que las ciudades cristianas de los reinos medievales se consolidaron, las captaciones de agua para su abastecimiento fueron de nuevo haciéndose más complejas y ya en el siglo XIV se construyen de nuevo acueductos como el de Morella (Castellón) o canalizaciones subterráneas como las que alimentan fuentes en Barcelona (González Tascón, 2008a).

## AZUDES, PRESAS Y ESTACADAS

---

Las poblaciones emplazadas junto a ríos caudalosos no solían abastecerse directamente de ellos, ya que las aguas bajaban turbias en época de crecidas y porque, en los fuertes estiajes, las escasas aguas podían bajar contaminadas y, en ambos casos, sin la calidad que se exigía al agua destinada al consumo humano.

Por estas razones, ni Zaragoza se abasteció de las aguas del Ebro, ni Toledo lo hizo del Tajo, ni Mérida del Guadiana ni Córdoba del Guadalquivir. En casi todos estos casos, los pobladores prefirieron abastecerse de pequeños manantiales o arroyos, aprovechando también con frecuencia las aguas subterráneas, que se captaban mediante la excavación de galerías drenantes, qanats, o de pozos (Pizarro Berengena, 2014). En el caso de Sevilla se completaba su abastecimiento con el agua del Guadalquivir, que se recogía en un punto concreto e idóneo del cauce, donde estaba prohibido lavar ropa o verter basura, y transportada a lomos de acémilas en cántaros y odres de cuero por aguadores que se encargaban en beneficio propio de su venta, según la ordenanza que regulaba su actuación (del Pino García *et al.*, 2011).

A veces, el agua que alimenta al núcleo urbano —río, manantial, fuente o pozo— se encontraba lejos de la población; esta circunstancia determinó la construcción o restauración de presas de derivación o azud, acequias, galerías subterráneas y acueductos, que la conducían hasta la ciudad. Los conductos de agua, subterráneos o no, debían a veces franquear desniveles del terreno importantes por medio de arquerías. En otros casos, se hacía necesario construir una estructura muraria, en ocasiones doble, conocida con el nombre de qawraya (en castellano cauracha o coracha), que permitía a los habitantes del núcleo urbano ir a buscar el agua de las inmediaciones sin comprometer su seguridad (del Pino García *et al.*, 2011). Algunas de esas conducciones fueron construidas por los andalusíes, caso de las existentes en Madrid, Crevillente, Andújar, Almería y Vélez Málaga, pero otras como las de Pechina, Jaén, y Huelva serían reutilizadas (Mazzoli-Guintard, 2000). Este es también el caso del acueducto de Valdepuentes en Córdoba reutilizado en época islámica para abastecer Medina-Azahara (Pizarro Berengena, 2014).

El azud se construye transversalmente en un río permitiendo acumular agua, elevar su nivel y derivarla a una acequia o canal de distribución usada principalmente para riego. En el sureste árido español eran frecuentes los diques temporales o boqueras en corrientes efímeras aunque desde épocas anteriores a la islámica (Giráldez *et al.*, 1988). El término árabe azud ha tenido más connotación de derivación de agua antes que de acumulación y retención para lo que es más apropiado el vocablo de presa.

Sobre la construcción de presas y estacadas se ejercía un fuerte control concejil a causa de su proliferación y de los abusos cometidos por el uso privado. El agua era considerada como un bien común, de acuerdo con la legislación castellana acerca de los ríos y sus riberas y, por lo tanto, su apropiación por particulares era juzgada, igualmente, al mismo nivel que la enajenación de tierras comunales. Pero ese control también derivaba de los daños que podía aparejar su construcción incontrolada y desordenada: las presas y estacadas podían llegar a provocar inundaciones cuando los ríos iban crecidos, con los consiguientes daños en caminos, molinos, calces, puentes, edificios colindantes, etc.

## CISTERNAS O ALJIBES

El sistema de captación y conservación del agua en cisternas o aljibes no es exclusivo del mundo islámico ya que se practica en todos los países mediterráneos que tienen una larga estación seca y una pluviometría irregular (ver



figura 1). El uso de aljibes, palabra derivada de la árabe *al-yubb* (Pavón Maldonado, 1990), resulta fundamental como sistema de aprovisionamiento de las aguas traídas a la ciudad mediante qanats. Asimismo, en casas y mezquitas los aljibes recibían el agua que bajaba de los tejados mediante atanores o conductos de metal o barro cocido embebidos en los muros. Estos depósitos domésticos se ubicaban casi siempre bajo o junto a un estanque o alberca, al pie de la cual figuraba la boca o brocal de aquéllas. En el patio de la Mezquita de Córdoba existe un aljibe, el aljibe de Almanzor (ver figura 2), que recibía el agua de lluvia del propio pavimento del patio y de los tejados constituidos por canaletas diseñadas para evacuar rápidamente, y sin que se formen balsas de retención, el caudal de escorrentía generado (Roldán-Cañas *et al.*, 2006).

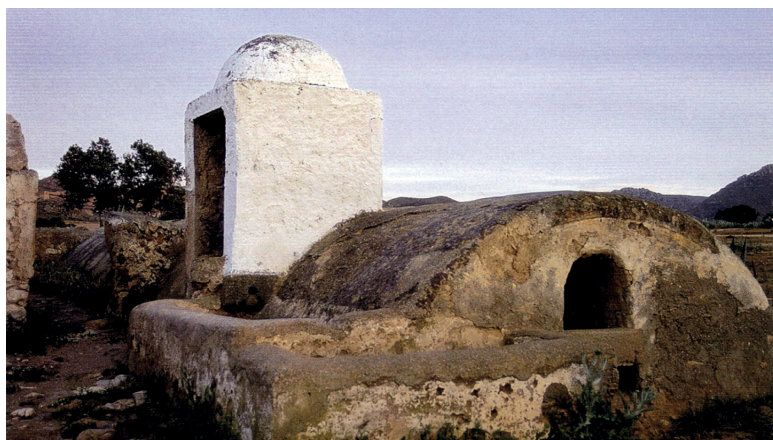


Figura 1. Aljibe en Cabo de Gata (Almería).

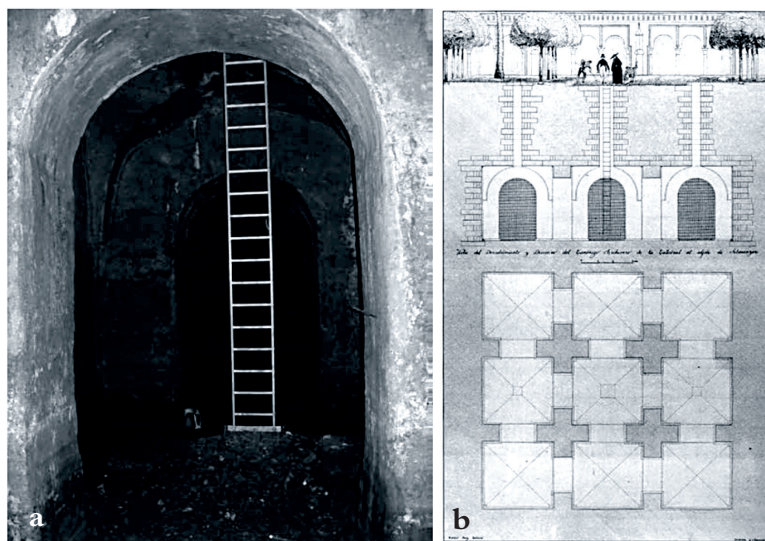


Figura 2. Aljibe de Almanzor: a) Nave central (Pizarro Berengena, 2014); b) Planta y sección del aljibe según G. Ruiz Cabrero (Nieto Cumplido, 1998).

Por la vía de las aguas pluviales, la casa perpetuó en todo el orbe mediterráneo el binomio implubium-complubium de la residencia greco-romana (Pavón Maldonado, 1990).

## POZOS

---

Así mismo, las viviendas suelen estar equipadas con pozos; el uso de este sistema permite a sus moradores explotar allí donde era posible la capa freática que se encuentra debajo de la casa. El caso de Córdoba es paradigmático y conocido gracias a las intervenciones arqueológicas que se han venido realizando en los últimos años en sus arrabales. La abundancia de pozos en esta ciudad se explica, tanto por la riqueza de los acuíferos existentes bajo los terrenos cuaternarios en los que se asienta, como por la accesibilidad del nivel freático, situado a una profundidad media comprendida entre los siete y los nueve metros; tales pozos se encuentran ubicados en los patios de las casas (en la parte central, lateral o en uno de sus ángulos), son, por lo general, circulares y presentan un diámetro de boca entre 60 y 90 centímetros; en superficie podemos hallar la boca de pozos bordeada por una plataforma de sillares y bordillo (del Pino García *et al.*, 2011). Estos pozos solían tener un brocal para impedir la caída accidental de personas y animales y facilitar el acceso al agua, cuya extracción se realizaba directamente por medio de cubos u otros recipientes apropiados y atados a una cuerda o, en el mejor de los casos, elevados con ayuda de poleas. Por lo demás, también se han documentado pozos-noria, asociados a espacios de viviendas con huertas o jardines (Aparicio Sánchez, 2008; Castro del Río, 2005; Casal García, 2008).

## PILAS Y FUENTES

---

En el interior de las viviendas abundaban las pilas, de forma y tamaño diverso y, fuentes que se destinaron tanto para el consumo humano, la higiene personal y la limpieza de las letrinas, como para una función estética y decorativa, caso éste último de las albercas ubicadas en algunos de los patios de las viviendas más importantes (Vallejo Triano, 2004).

## QANATS

---

Entre las técnicas de captación de aguas subterráneas destacan los *qânats*: galerías de escasa pendiente que drenan el agua de un acuífero hacia el exterior sin que sean necesarios mecanismos de elevación (ver figura 3). Goblot (1979) define los *qânats* o *qanawat* como una técnica de carácter minero, no de regadío, que consiste en explotar capas de aguas subterráneas (acuíferos) por medio de galerías drenantes, ya que las minas existían mucho antes de la aparición de los primeros *qanats*. Se usaban para la captación y transporte de agua a las ciudades y podían alcanzar cientos de metros de longitud, estando abiertas al exterior por una serie de pozos debidamente espaciados, y ofreciendo la ventaja de suministrar a las poblaciones un flujo de agua constante y regular, independientemente de la estación del año.

Los *qânats* españoles o viajes de agua son el resultado de la influencia árabe-persa en la península Ibérica. El caso más significativo es el de Madrid que debe su ubicación y fundación como una fortaleza en el año 871 a la red de

*qanats* establecida por iraníes incluidos entre las compañías omeyas. Posteriormente, y debido a la calidad y abundancia de esta agua, fue elegida por Felipe II en 1561 como capital del reino en lugar de Toledo. López Camacho *et al.* (2005), describen el *qanat* de la Fuente Grande de Ocaña, señalando que Madrid se abasteció por este medio durante diez siglos, entre el IX y el XIX, habiéndose inventariado 124 km de galerías, 70 de captaciones y 54 de conducciones.

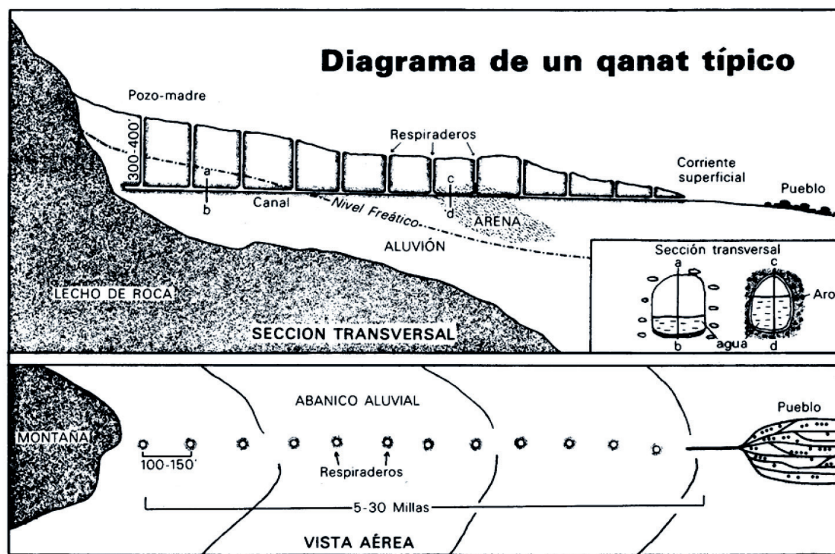


Figura 3. Diagrama de un qanat típico (Fuente: Glick, 1988).

## LOS MOLINOS HIDRÁULICOS

Durante los siglos VIII y IX los molinos de agua se usaron ampliamente tanto en Suiza como en la mitad norte de Francia, en villas y en monasterios. En este último caso, las abadías Benedictinas contribuyen en gran manera a esa difusión por cuanto siguen la regla de San Benito que dictamina que cada monasterio debe proveerse con agua y un molino (Viollet, 2007).

La entrada de los musulmanes en la península Ibérica no supuso un retroceso en la difusión de los molinos hidráulicos sino más bien al contrario ya que buscaron una adecuada planificación del agua disponible repartiendo su uso tanto para riego como para la molienda de los cereales. Molénat (2006) considera que los mudéjares toledanos jugaron un papel muy importante en la preservación de los molinos toledanos y de las técnicas hidráulicas, en general, durante el siglo XIV. A mayor abundamiento, el decaimiento de la comunidad mudéjar durante el siglo XV, así como la desaparición de la herencia recibida de al-Andalus a través de los mozárabes, son las causas que producen una caída de la tradición hidráulica toledana durante ese siglo.

En la Edad Media existieron diversos tipos de molinos: el *molino de sangre* de tracción animal; el *molino de viento*; y los *molinos hidráulicos de rueda horizontal o rodezno y de rueda vertical* (González Tascón, 2008b). Los molinos harineros más

frecuentes eran los de rodezno que requieren caudales relativamente pequeños ya que disponen de procedimientos para aumentar la energía del agua en el momento de incidir sobre el rodezno. En la Baja Edad Media se aprovechó por primera vez las mareas transformando su energía en energía mecánica usando un molino hidráulico (*molinos de mareas*). Por último, a finales de la Edad Media, aunque su apogeo puede situarse en el siglo XVI, empiezan a usarse los *molinos de regolfó* que suponen una auténtica revolución ya que se podía aprovechar la energía de corrientes allá donde no había altura suficiente del salto (Moreno-Pérez *et al.*, 2010a).

El funcionamiento de un molino hidráulico de rodezno requiere de la construcción de una serie de elementos que permitan captar, regular y conducir el agua así como aumentar la velocidad y presión del agua que va a mover sus elementos impulsores o *rodeznos* (Reyes, 2006). Los molinos se instalan, en consecuencia, en las proximidades de un río o acequia y los elementos previos que requieren son: *presa de derivación* desde la que se deriva el agua a un canal o acequia denominada *caz* que, a su vez, conduce el agua con una suave pendiente hasta el molino. La cantidad de agua que entra en el *caz* se regula con *compuertas* o *portones* que también existen a lo largo de la acequia en cada una de las derivaciones hacia los diferentes usuarios (ver figura 4).

También es frecuente encontrar una azuda tendida perpendicularmente a la dirección fundamental de la corriente que desvía el flujo hacia las ruedas de uno o varios molinos. Un ejemplo lo tenemos en el río Guadalquivir a su paso por Córdoba donde una azuda, construida aguas abajo del puente Romano, denominada *La Parada del Puente*, cruza en toda su anchura el río alimentando cuatro molinos (San Antonio, Pápalo, Enmedio y Albolafia) desde al menos el siglo X hasta épocas muy recientes (ver figura 5a), aunque actualmente está en desuso a pesar de la restauración externa de algún molino como el de San Antonio (ver figura 5b). Con seguridad, el geógrafo al Idrisi en el siglo XII y al Himyarí a fines del siglo XIII hacen mención expresa de esta azuda (Córdoba *et al.*, 2008). También Camilo José Cela en su *Primer Viaje Andaluz* (1959) escribe (Porro, 1998):

“A la otra mano vigila el castillo de la Calahorra, y aguas abajo del puente, navegan —varados en sus azudas— tres o cuatro molinos”.

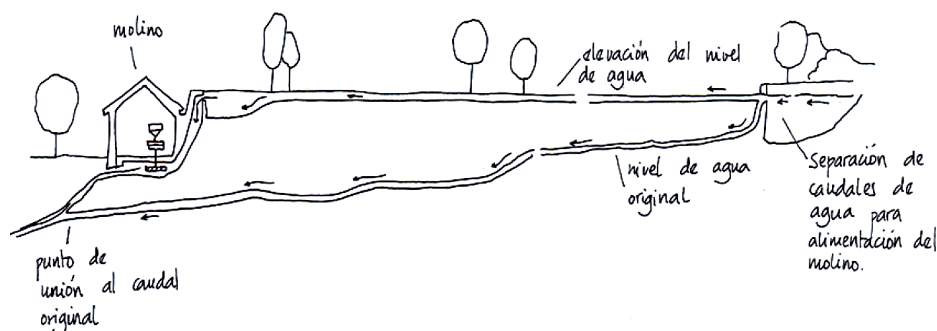


Figura 4. Esquema de un molino de agua (Argemí *et al.*, 1995).





Figura 5a. Córdoba: el Puente, la Mezquita-Catedral y los Molinos con su azuda. Fototipia de Hauser y Menet. 1893.



Figura 5b. Molinos de San Antonio, Pápaló y Enmedio, de izquierda a derecha, y restos de la azuda (5 de junio de 2016).

En el caso de ríos con escaso o irregular caudal se construyen a lo largo de las acequias *albercas* para almacenar y regular el agua disponible de modo que los molinos funcionaran de modo continuo. El exceso de agua se evita instalando un *aliviadero* o *rebosadero*, cerrado con una compuerta cuando no está en uso, antes de llegar al molino. Tras el aliviadero se sitúa una *rejilla* de barras metálicas para impedir la entrada de elementos gruesos que puedan deteriorar los rodeznos.

El aumento de la energía con la que el agua alcanza los álaves de la rueda hidráulica se consigue de dos formas (Garrido *et al.*, 2007), a través de una *rampa* o canal estrecho de gran pendiente (incremento de la energía cinética) o mediante un *cubo* de presión que aumenta la carga de agua (incremento de

la energía potencial). El cubo es una innovación tardomedieval que permite obtener una misma potencia con un caudal menor y, por tanto, hace un mejor aprovechamiento del agua disponible. La conexión de la acequia con el cubo se hace ya en el edificio molinar a través de la *tajea*.

El cubo suele ser de geometría circular en su interior, alzado vertical, y geometría exterior cuadrada o rectangular. El cubo comunica con el cárcavo a través del codo. Dentro del cárcavo encontramos tanto elementos del sistema hidráulico como elementos del sistema móvil del molino, estos son el saetín, la puente, el gorrón, la rangua, el rodezno, la maza y el palahierro que termina en la lavija, la cual hace solidarios al palahierro con la piedra corredera (Moreno-Pérez *et al.*, 2010b).

La fuerza hidráulica final con la que el agua alcanza el rodezno depende de dos factores; por un lado, del salto de agua disponible, que acabamos de mencionar, y, por otro lado, del caudal de agua que circula por el caz. El producto de ambos nos da la potencia transferida por el agua al rodezno.

Los molinos de regolfo están constituidos por un cubo de escasa altura, denominado *cubete*, en el que se aloja una rueda horizontal o rodezno por la que circula una gran cantidad de agua (García Tapia, 1997). El término regolfo hace alusión a la acción de retroceso de una corriente de agua cuando choca contra algún obstáculo. El chorro que alcanza la rueda va a una presión superior a la atmosférica por lo que la energía total es suma de esta energía de presión y de la energía cinética (ver figura 6).

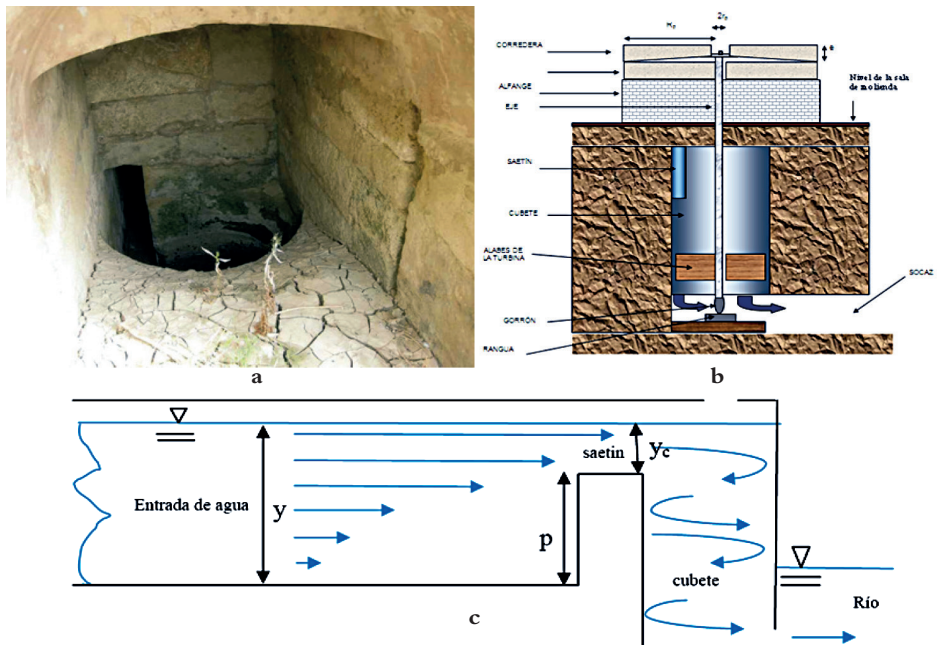


Figura 6. Molinos de regolfo: a) Saetín y acceso al cubete (Molino de la Alegría, Córdoba); b) Cubete del regolfo donde se aloja el rodezno o turbina; c) Esquema en alzado del saetín y del cubete indicando el movimiento del agua (Moreno Pérez *et al.*, 2010a).

El agua penetra en el cubo a través de una tronera de sección reducida, respecto del canal situado bajo el molino lo que hace que el nivel del agua suba dentro del cubo produciéndose el efecto de regolfo hasta llegar al rodete haciéndole girar. En la parte superior del cubete existe una abertura rectangular por donde el agua entra al mismo tangencialmente induciendo al agua a girar en sentido levógiro (contrario a las agujas del reloj) y provocando un movimiento rotacional centrífugo que arrastra a la rueda hidráulica. Así pues, ya no es la propia fuerza del agua la que provoca el movimiento del rodezno sino su transformación en energía centrífuga tal y como ocurre en las modernas turbinas. El comportamiento hidráulico en la rueda de un molino de regolfo es análogo al que ocurre en las denominadas turbinas de reacción (Moreno-Pérez *et al.*, 2010a).

### LAS RUEDAS DE CORRIENTE VERTICALES DE CANGILONES O NORIAS

Según Caro Baroja (1983), las ruedas para sacar agua y regar se pueden clasificar en cuatro grupos:

- Ruedas movidas por la misma corriente de agua, de eje horizontal y colocadas verticalmente en ríos y acequias, provistas de cangilones para dar entrada y salida al agua en uno de sus lados.
- Ruedas movidas por animales para extraer agua de pozos con un engranaje de linterna o similar.
- Ruedas movidas por el hombre.
- Ruedas movidas por el aire parecidas a los molinos de viento.

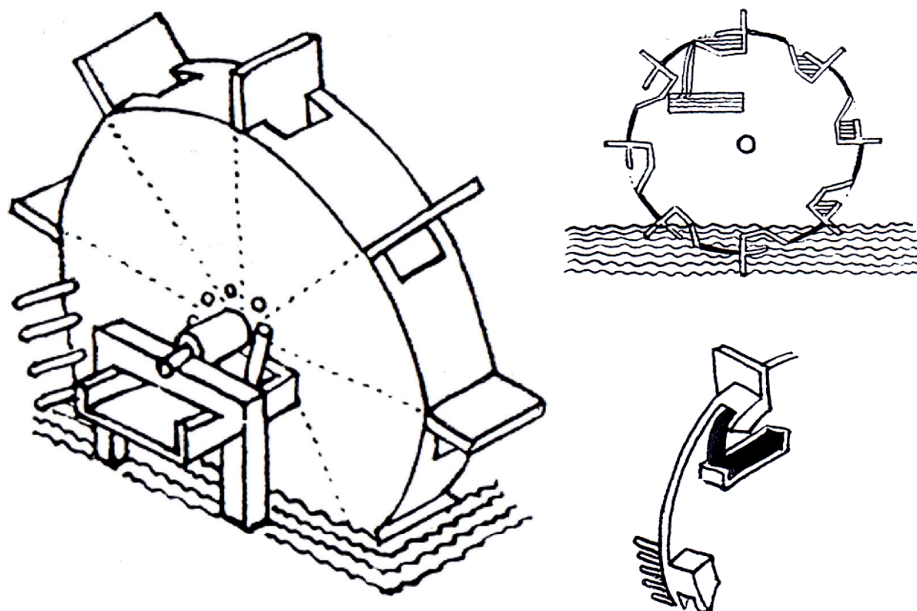


Figura 7. Tipos de ruedas de corriente vitrubianas. Fuente: Caro Baroja, 1983.



Quizás Arquímedes (siglo III a.C.), que escribió un tratado sobre las hélices y al que se le atribuye la invención de un mecanismo elevador, *el tornillo de Arquímedes*, pueda ser el origen del principio físico de las ruedas: el agua le da movimiento y ella la eleva, aunque hay autores que piensan que este artilugio era conocido mucho antes en Egipto. Prueba de lo anterior es que el geógrafo Estrabón ya cita su presencia en el Nilo. Posteriormente, Vitrubio ya habla de ruedas de cangilones movidas tanto por la corriente como por el hombre (ver figura 7). En general, la existencia de ruedas hidráulicas y su extensión geográfica está ligada principalmente, tanto en la Edad Antigua como en la Media, a sistemas de riego aunque también se han usado en explotaciones mineras españolas, minas de Tharsis y de Río Tinto, en época romana y siempre accionadas por la fuerza humana.

Aunque los molinos hidráulicos, de eje horizontal y rueda vertical, son conocidos en época romana, es durante el tiempo de los visigodos cuando sufren una mayor expansión (González Tascón, 2008b). Pueden distinguirse dos tipos; por un lado, se encuentran las aceñas de rueda vitrubiana que disponen de paletas planas dispuestas radialmente y necesitan de engranajes para poder hacer girar la piedra corredera del molino; y, por otro lado, las ruedas provistas de cangilones en las que el peso del agua al llenarlos hace girar la rueda. Las primeras son mejores para moler grano aunque requieren de un gran caudal de agua y su rendimiento es escaso. Las segundas son lentas para moler el grano aunque muy útiles para captar agua, elevarla y distribuirla para otros fines como, por ejemplo, el riego.

Es claro, por tanto, que todos estos artilugios elevadores eran conocidos en esta época y no son invención árabe que, sin embargo, se pueden considerar los grandes difusores de estas técnicas generalizando su uso. Prueba de lo anterior se muestra en la figura 8 en la que aparece la distribución de algunas norias de corriente y la frontera de los reinos cristianos y musulmanes en la Península Ibérica durante el Califato Omeya, siglo X. Es curioso constatar la mayor concentración de norias en el lado musulmán aunque en este dibujo



Figura 8. Localización de las norias fluviales en la Península Ibérica (siglo X). Fuente: Caro Baroja, 1983, readaptada por Glick, 1988.

la frontera coincide con el límite que separa la España húmeda, la cristiana, de la seca, la musulmana.

La distribución geográfica de las norias en Al-Andalus puede dar una idea del desarrollo agrícola en zonas rurales. Sin embargo, los Libros de Repartimiento no proporcionan buena información ya que las citan escasamente quizás por su gran abundancia. La única fuente existente, ya del siglo XX, la proporciona el Ministerio de Fomento que en 1918 hace un inventario de las mismas aunque se desconoce el procedimiento seguido para su conteo, si se incluyen todas o solo las tradicionales y si la metodología varió de provincia a provincia (Glick, 1996). La tabla 1 muestra la distribución de las norias entre las 15 provincias con mayor número.

Tabla 1. Distribución de norias por provincias (Fuente: Ministerio de Fomento, 1918).

1. Ciudad Real	21.006	9. Valladolid	842
2. Castellón	4.083	10. Almería	668
3. Baleares	3.540	11. Córdoba	647
4. Toledo	2.750	12. Alicante	566
5. Valencia	2.000*	13. Gerona	505
6. Zamora	1.552	14. Murcia	503
7. Madrid	1.432	15. Jaén	542
8. Cáceres	1.010		

\* Estimación del encuestador

El término *noria* proviene del árabe *nā'ūra* y se refiere a todos los artilugios para la elevación de agua compuestos de ruedas. Se distingue entre las *norias de corriente* (*noria fluvial* o *noria de vuelo*), ruedas verticales sin engranajes situadas en ríos o canales accionadas por el agua también llamadas en algunas zonas *aceñas*, y *norias de sangre* (*norias de tiro* o *saniya*), accionadas por tracción animal que se utilizan para elevar aguas captadas a través de pozos de hasta 10 m de profundidad. Según Córdoba *et al.* (2004), el nombre castellano, *noria*, no ha derivado del término árabe con que fueron conocidas en Al-Andalus, *saniya*, sino con el que fueron llamadas las norias fluviales, *naura*, y que se empleó en la España cristiana indistintamente. De *saniya* se deriva la palabra *aceña* usada para denominar a los molinos de rueda hidráulica vertical durante la Baja Edad Media.

El nombre árabe *naura* parece derivar del verbo *na'ar* que significa gruñir o gemir y que hacía alusión al característico chirrido emitido por las mismas (Pavón Maldonado, 1990; Córdoba, 2004). Así, por ejemplo, las norias de tiro de Palma del Río (Córdoba) han sido conocidas con el nombre de *chirriones*. Según diversos autores, como Caro Baroja y Torres Balbás, la famosa *noria* de la Albolafia de Córdoba, que viene a significar de la *buena suerte* o de la *buena salud* (ver figura 9), fue desmontada en junio de 1492 a causa de su continuo chirrido que molestaba a la reina Isabel la Católica que por aquel entonces se encontraba enferma en el Alcázar de los Reyes Cristianos de Córdoba (Córdoba *et al.*, 2004).

Las ruedas hidráulicas o norias constituyen elementos singulares en las diferentes ciudades ribereñas de ríos importantes de modo que, a finales del siglo XIV, aparecen de forma regular y distintiva en sus sellos (González, 1945). Así ocurre con el de la ciudad de Murcia en el río Segura (ver figura 10a), con el de Zamora en el río Duero (ver figura 10b) o con el de Córdoba en el río Guadalquivir (ver figura 11). En este último caso, sigue siendo el sello oficial de la ciudad.

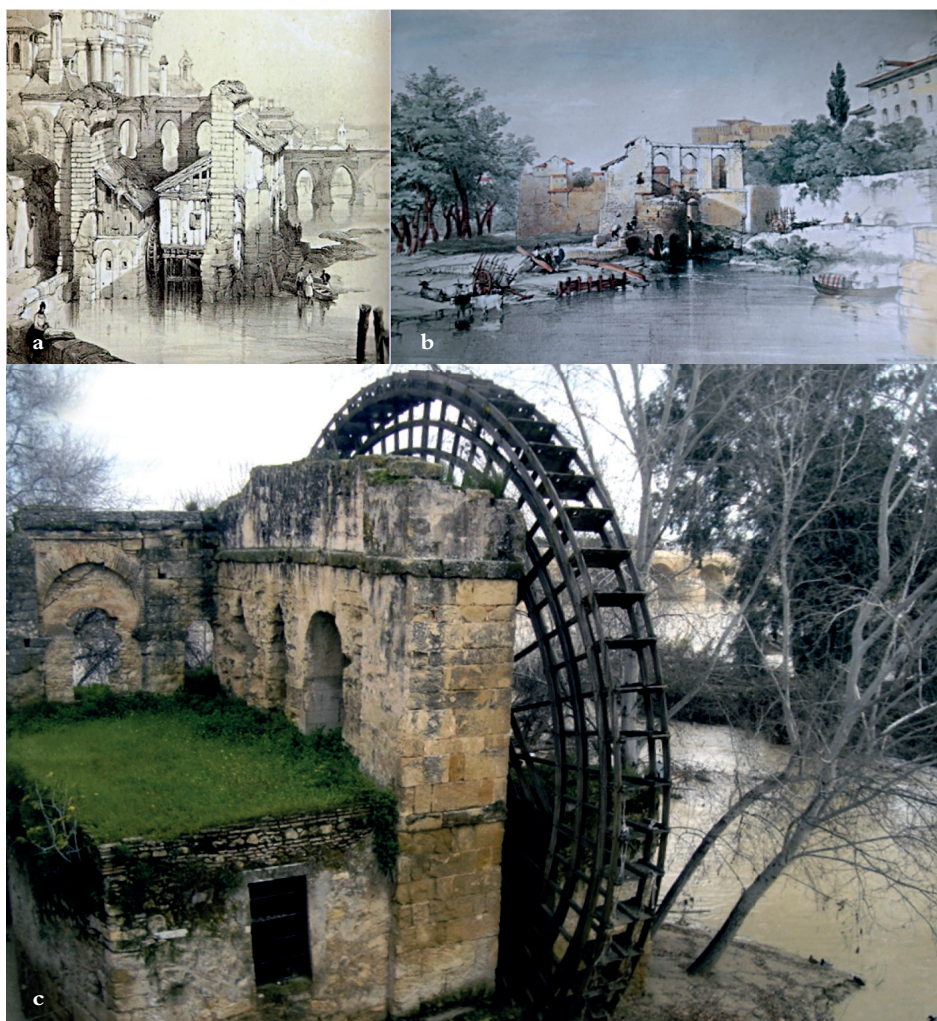


Figura 9. Noria de la Albolafia de Córdoba: a) Dibujo de David Roberts (1837); b) Dibujo de George Vivian (1837); c) En la actualidad (10 de marzo de 2013).

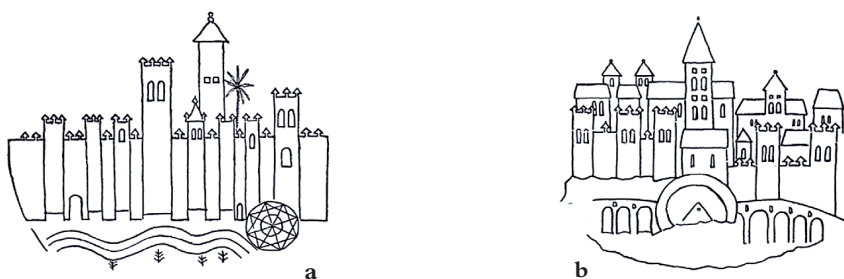


Figura 10. Ruedas hidráulicas mostradas: a) En el sello de la ciudad de Murcia (siglo XIV); b) En el sello de la ciudad de Zamora (siglo XIV). Fuente: Caro Baroja, 1983.



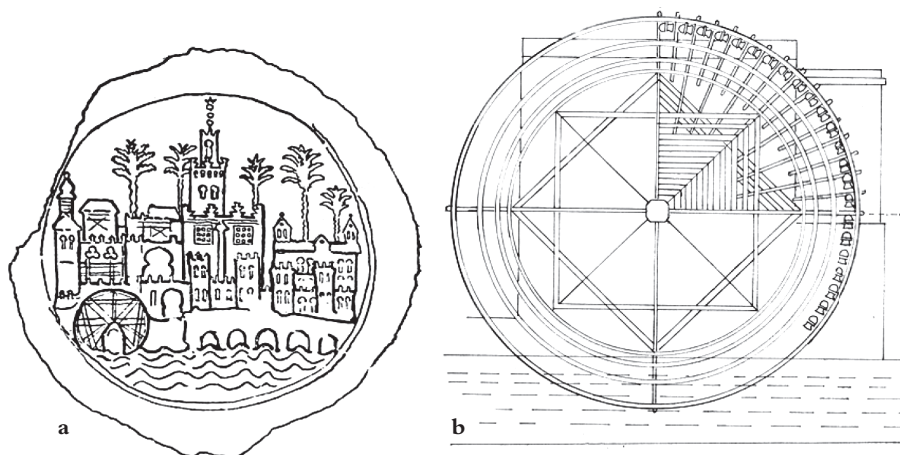


Figura 11. Noria de la Albolafia de Córdoba: a) Del sello de la ciudad, siglo XIV según interpretación de Caro Baroja (1983); b) Restitución según Pavón Maldonado (1990).

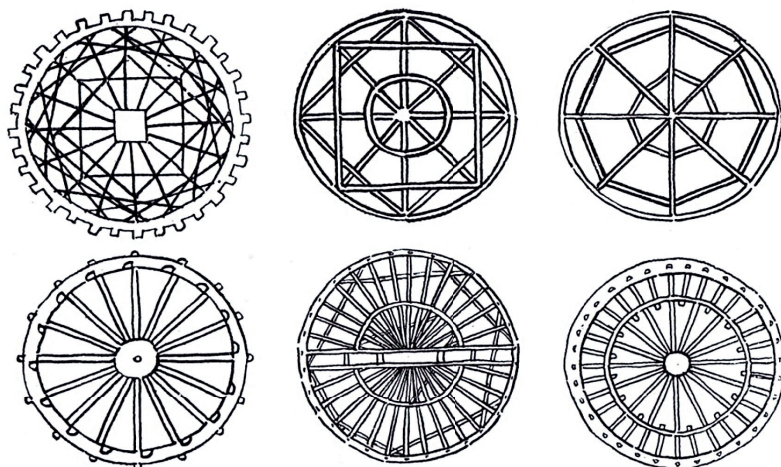


Figura 12. Formas geométricas de ruedas hidráulicas. Fuente: Caro Baroja, 1983.

Las formas de las ruedas hidráulicas han ido evolucionando desde estructuras más simples, radiales, en época romana hasta las más complejas, polígonos estrellados tal y como cuadriláteros inscritos en circunferencias, pentágonos y estrellas de ocho puntas, de época musulmana. En la figura 12 se muestran algunos ejemplos de formas geométricas de las ruedas: la I es la rueda romana; la II la rueda árabe antigua; la III la rueda moderna de Asia Menor; la IV es la rueda islámica que aparece en el sello de la ciudad de Murcia; la V es una rueda moderna española (ver figura 13); y la VI es una rueda del río Genil (afluente del Guadalquivir) de origen mixto. La figura 14 muestra una fotografía de una reproducción a escala de la noria existente en el río Guadajoz, también afluente del Guadalquivir, a su paso por Albendín (Córdoba) y que pertenece al tipo IV. La última noria desapareció de Albendín en 1970 aunque el Ayuntamiento

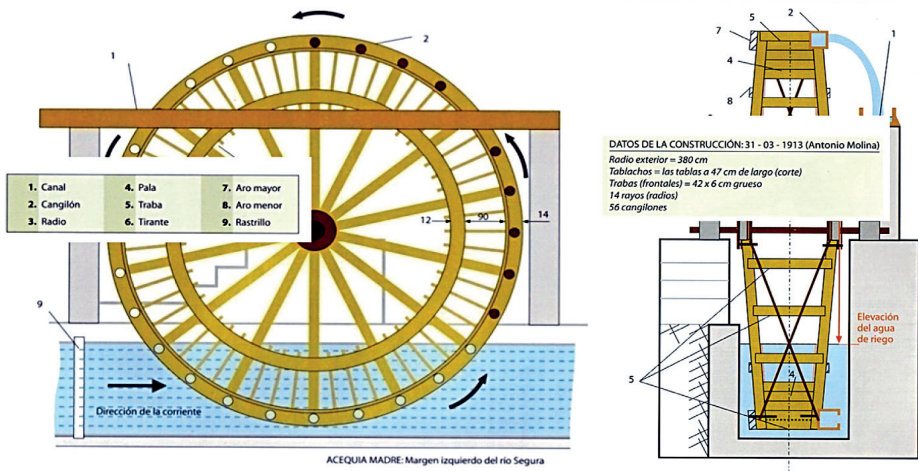


Figura 13. Noria de corriente sobre el río Segura (Murcia). Siglo XX. Fuente: Molina y Navarro, 2004.



Figura 14. Reproducción a escala de la noria de Albendín (Córdoba). Autor: El Gallo (Albendín).

mandó construir una nueva a imagen de la anterior que empezó a funcionar en 1986 como elemento decorativo y para regar el parque municipal (del Pino García *et al.*, 2011).

La energía del agua responsable del movimiento de la rueda se aprovechaba a través de paletas planas ancladas al aro de la circunferencia externa. La manera de recoger el agua fue, inicialmente, a través de orificios abiertos en dicho aro perimetral (ver figura 15a) y, posteriormente, por arcaduces o cangilones exentos (ver figura 15b) adosados a la rueda en un solo lado o a ambos lados duplicando su número, pudiendo situarse junto a las paletas o equidistantes de las mismas.

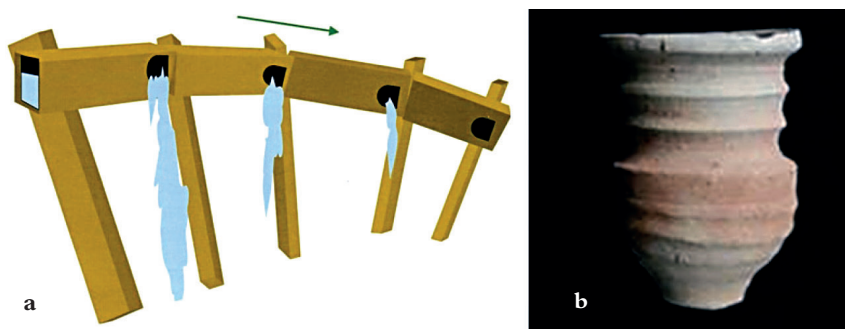


Figura 15. Cangilones de noria: a) Situación sobre la rueda (Fuente: Molina y Navarro, 2004); b) Pieza del Museo Arqueológico de Córdoba (siglos X-XI).

Los arcaduces tenían una inclinación adecuada al objeto de verter el agua sobre la canaleta de salida situada en la parte superior. Las maderas utilizadas en la construcción de las norias eran de encina o almez.

Tal y como se observa en la figura 15b, los arcaduces presentan unas hendiduras producidas al tornearlos que sirven para atarlos a la rueda de la noria. Siguiendo las enseñanzas de Ibn al-Awam (siglos XII-XIII), a los arcaduces se les practica un agujero en su parte inferior con dos objetivos; por un lado, para que el aire pueda escapar cuando se llenan de agua evitando así su rotura, y, por otro lado, para vaciarlos cuando se pare la noria ya que el peso del agua dentro de los mismos podría deformar la rueda de madera (Argemí *et al.*, 1995). Un estudio completo, analítico y tipológico, de los arcaduces puede encontrarse en Bazzana y Montmessin (2006).

## LAS NORIAS DE SANGRE O SANIYAS

Las norias de sangre tienen una mayor complejidad que las de corriente pues requieren conocer la transmisión de fuerzas a través de engranajes y de ahí que Caro Baroja (1983) las considere la verdadera invención de los árabes. Tal y como reflejó Losada (2004), los árabes aprovecharon las norias para ampliar el espacio hidráulico dominado por las corrientes (fluviales o acequias) en las que se sitúan.

Las norias de sangre, también denominadas norias de tiro o saniyas no figuran entre los diferentes artilugios elevadores que Vitrubio menciona en su célebre tratado de Arquitectura. Tampoco, por tanto, figuran en los textos de Herón o Filón menciones a los engranajes necesarios para el funcionamiento de este tipo de norias. Sin embargo, la noria de tracción animal, que seguramente desarrollaron ingenieros persas, no puede entenderse sin que se hayan aplicado en su desarrollo los principios de la mecánica helenística (Caro Baroja, 1983). Los árabes difunden la noria de sangre por occidente y realizaron los primeros estudios y desarrollos teóricos sobre estas máquinas. La saniya es el artilugio de elevación de agua más extendido en al-Andalus y en el resto del mundo islámico.

Ibn al-Awam (siglos XII-XIII), citando a otro escritor anterior de nombre Abu-el-Jair al-Isbili, describe algunas particularidades de la saniya: “Dice que cada dos varas de la maroma de la noria haya cinco arcaduces, y que cuantos más fueren los dientes en la rueda pequeña... vendrá a ser esta máquina más liviana y ligera, y lo

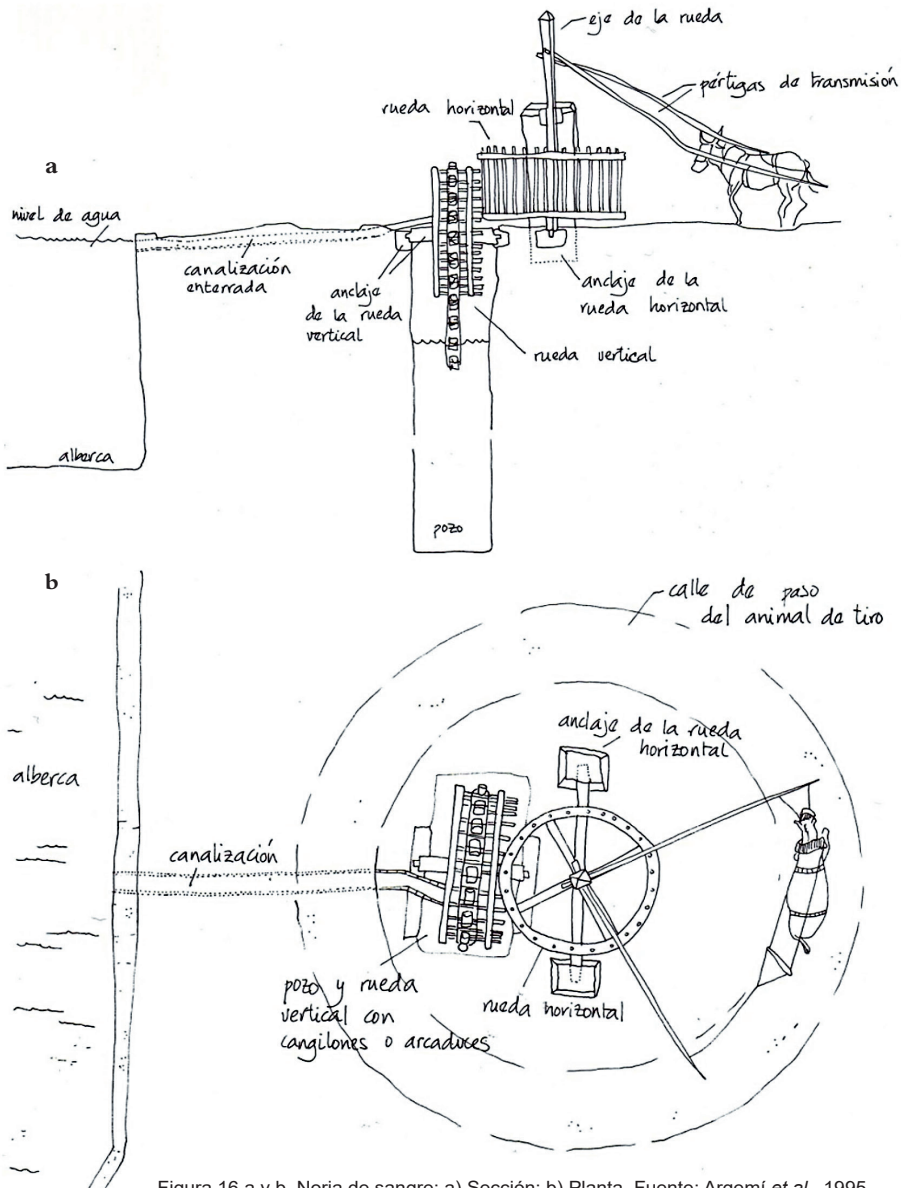


Figura 16 a y b. Noria de sangre: a) Sección; b) Planta. Fuente: Argemí et al., 1995.

mismo si el palo travesaño fuera largo; el cual no perjudica sea de treinta palmos. Que también se da fácil (curso a la maroma) doble con cortar del palo derecho lo que sobresale por encima del horado del travesaño; y lo mismo si las rodajas que llevan los arcaduces fueran de madera pesada...respecto a que así se logra aquel efecto. Dicen, que para estorbar el encuentro de las gradas de la escalerilla con los arcaduces en el agua del pozo se haga a cada uno de estos en el fondo un pequeño agujero, con lo cual no ladeándose está libres de quebrarse unos con otros; los cuales vaciándose al parar la maroma, por esta causa dura la misma mucho tiempo”.



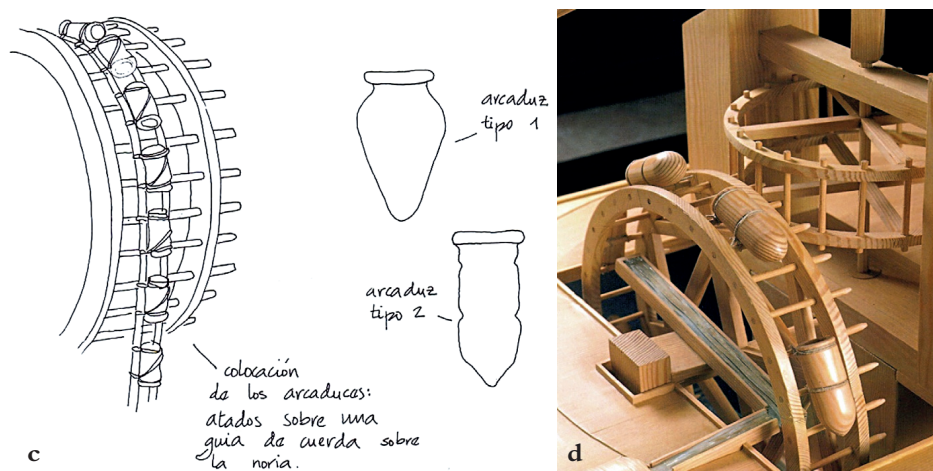


Figura 16 c y d. Noria de sangre: c) Arcaduces; d) Maqueta. Fuente: Argemí *et al.*, 1995.



Figura 17. Noria de sangre en Cabo de Gata (Almería).

En la Castilla bajomedieval se emplearon norias de sangre construidas en madera y con dos ruedas, una horizontal unida a un eje vertical y otra vertical dentada de la que colgaba una cuerda con los arcaduces. Los dientes de la rueda vertical encajaban en los listones situados entre los dos anillos de madera de la rueda horizontal. De esta forma, el movimiento horizontal se transformaba en uno vertical (Córdoba, 2004).

Este tipo de norias se pueden clasificar con base en diferentes conceptos: 1) según la posición de las ruedas engranadas respecto al conjunto: noria por lo



Figura 18. Aceñas de Olivares y rueda de paletas planas.

bajo y noria por lo alto; 2) según el tipo de engranajes: de linterna, de ángulo, de diente, y de crucetas; 3) según el tipo de arcaduces: de barro, de madera o de metal; 4) según el tamaño de las ruedas y la conexión entre la de agua y la de tracción: directa o a través de otra rueda intermedia (Caro Baroja, 1983).

Las norias de sangre se usan para la extracción de aguas de pozos, relativamente superficiales pues no superan los 10 m de profundidad. Dispone dos ruedas unidas por un engranaje; una horizontal que es la que mueve un animal a través de un brazo de madera llamado *mayal* o *almijara* y otra vertical dentada que recibe el movimiento de la primera. La rueda vertical se sitúa dentro del pozo, cuya forma ya no es en este caso circular sino ovalada, y a ella se atan los arcaduces usando cuerdas o cadenas. En la Castilla bajomedieval se emplearon norias de sangre construidas en madera. El procedimiento de toma de agua por los cangilones es análogo al de las norias e, igualmente, al final se vacían sobre una canaleta (ver figuras 16 y 17).

Glick (1979) señala que la noria andalusí no está relacionada con la típica noria bereber del norte de África. Más bien tanto la propia noria como los cangilones están inspirados en el modelo sirio. A su vez, los andalusíes introdujeron este tipo de noria en Marruecos así como en las tierras cristianas a través de la migración de los agricultores mozárabes.

## OTRAS MÁQUINAS HIDRÁULICAS DE ORIGEN MEDIEVAL

La molienda de grano ha sido una de las aplicaciones, pero no la única, de las aceñas. También a lo largo de la Edad Media se diversificó el uso industrial de energía hidráulica encontrándose *batanes*, dispositivos para limpiar de grasa y enfiutir, o dar el cuerpo correspondiente, las pieles, paños u otros tejidos de lana; sobre el tejido se echa la llamada tierra batán, greda en polvo o en pasta, de ahí el nombre del artilugio; *ferrerías* o forjas del hierro y factorías para fabricar papel a partir de trapos viejos. Incluso también se utilizó para serrar troncos de madera (del Pino García *et al.*, 2011). Las aceñas de Olivares, construidas alrededor del siglo X sobre el río Duero en Zamora, agrupan tres molinos, harinero, batán y ferrería, todos movidos por ruedas de paletas planas de tipo vitrubiano (ver figura 18).

El principio mecánico de estos artilugios se basa en transformar el movimiento circular de una rueda hidráulica en uno de vaivén. En concreto, el

procedimiento consiste en empotrar en el eje de la rueda que mueve el agua unas levas que accionan un mazo que se suelta y golpea una vez la leva deje de accionarlo conforme gira el eje. El número de levas es variable, entre dos y seis, y levantan alternativamente unos mazos de hierro o madera, recubiertos de cuero, que al quedar libres de la leva golpean sobre un paño, hierro para su forja o cualquier otro elemento. En el caso de las ferrerías, la pieza fundamental es el *martinete* que se trata de un martillo o mazo movido por una rueda hidráulica y que obedece a un principio hidráulico muy parecido al del batán (ver figura 19).

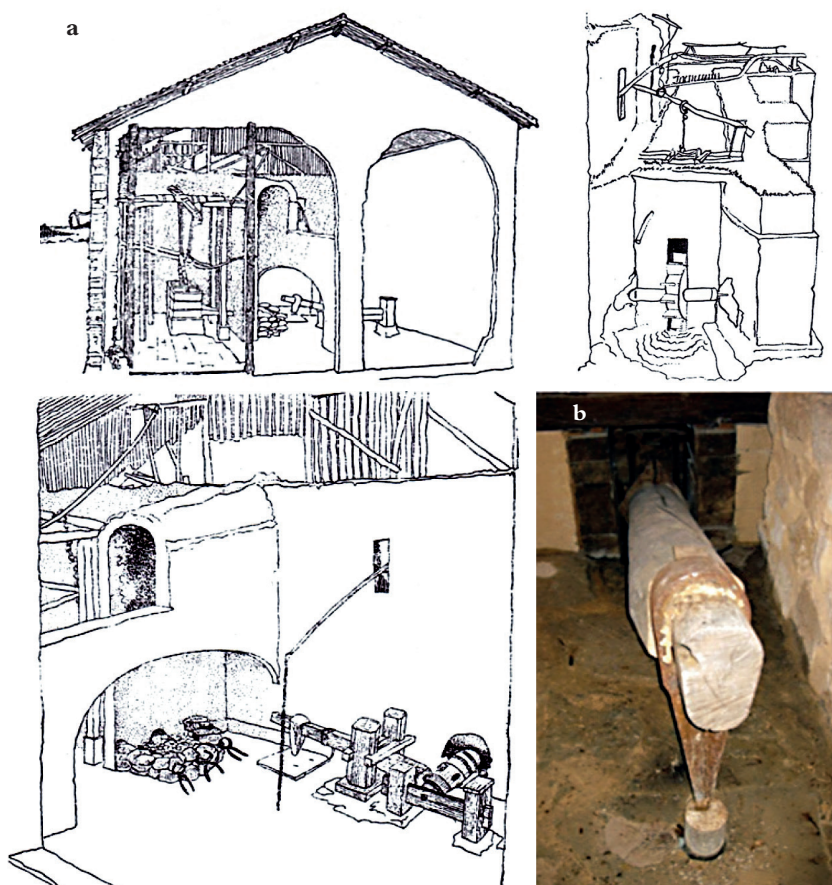


Figura 19. a) Esquema de la ferrería de Lebario, Abadiano (Vizcaya). Fuente: Caro Baroja, 1983; b) Martinete de las Aceñas de Olivares (Zamora).

García Tapia (1997) discute sobre la autoría de un manuscrito que, según sus propias deducciones, debió ser escrito entre 1564 y 1575, cuya única copia del siglo XVII se encuentra en la Biblioteca Nacional, atribuido a Juanelo Turriano, mecánico de Carlos I y Felipe II, y que contiene una amplia documentación e ilustraciones sobre la técnica del agua y sobre grandes elevaciones de agua usando complejos y extraños artificios (Juanelo Turriano, siglo XVI y Juanelo Turriano (Pseudo), 1983). En él también se pueden encontrar esquemas de



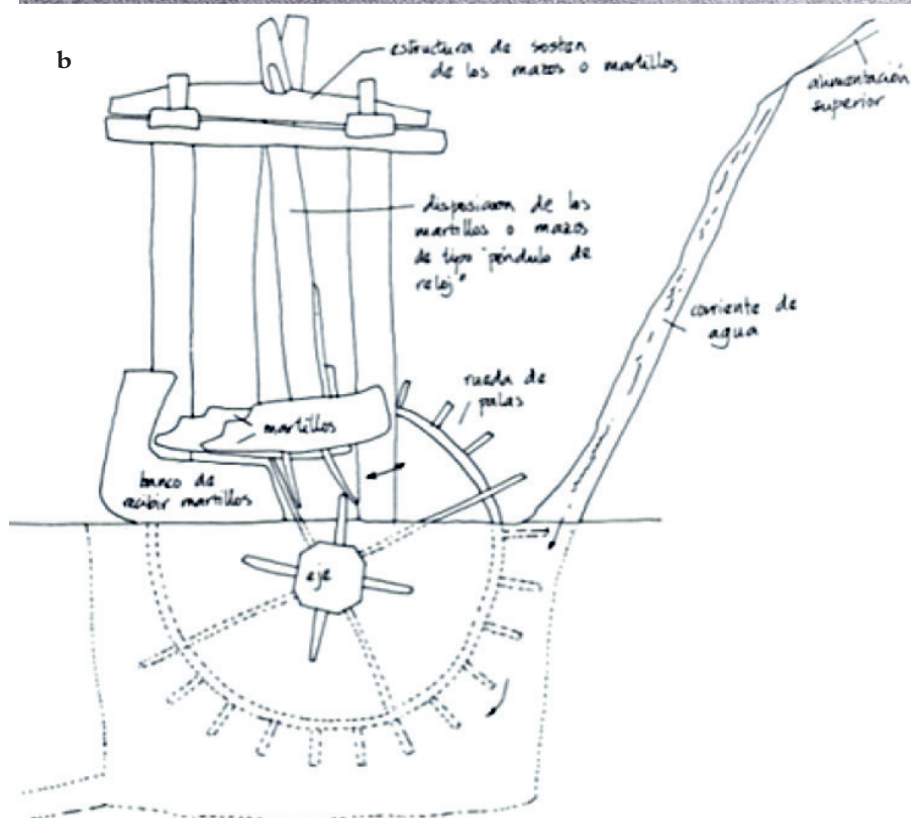
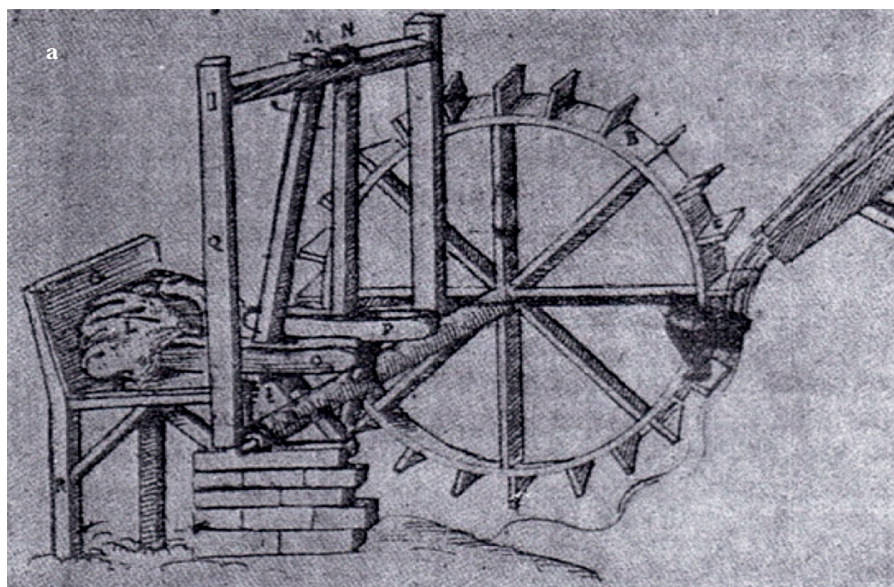


Figura 20. Batán: a) Turriano, siglo XVI; b) Argemí *et al.*, 1995.

artilugios ya mencionados como el batán (ver figura 20) lo que demuestra su amplia difusión en este siglo.

En nuestra obra literaria más universal, *El Quijote* (Cervantes, 1605), se describen tres episodios relacionados con molinos accionados por las fuerzas eólicas e hidráulica, esta última por partida doble. En primer lugar, en el capítulo VIII de la primera parte se encuentra el famoso episodio en el que Don Quijote y Sancho encuentran unos molinos de viento y Don Quijote se enfrenta a ellos confundiéndolos con gigantes a pesar de las advertencias de Sancho que los había identificado perfectamente... *no son gigantes, sino molinos de viento, y lo que en ellos parecen brazos son las aspas que, volteadas por el viento, hacen andar la piedra del molino*. García Tapia (2005) hace un análisis sobre la difusión de estos artilugios en la España de finales de la Edad Media y principios de la Edad Moderna. En segundo lugar, en el capítulo XX, también de la primera parte del *Quijote*, se narra la graciosa aventura de los batanes,... *Digo que oyeron que daban unos golpes a compás, con un cierto crujir de hierros y cadenas que, acompañados del furioso estruendo del agua, pusieron pavor a cualquier otro corazón que no fuera el de don Quijote... Y eran... seis mazos de batán, que con sus alternativos golpes aquel estruendo formaban*. Por último, en el capítulo XXIX de la segunda parte, el gran tamaño de unas aceñas que molían trigo confunde a Don Quijote,... *En esto, descubrieron unas grandes aceñas que en la mitad del río estaban, y apenas las hubo visto don Quijote, cuando con voz alta dijo a Sancho: ¿Ves? Allí, ¡oh amigo!, se descubre la ciudad, castillo o fortaleza donde debe de estar algún caballero oprimido, o alguna reina, infanta o princesa malparada, para cuyo socorro soy aquí traído. ¿Qué diablos de ciudad, fortaleza o castillo dice vuesa merced, señor? —dijo Sancho—. ¿No echa de ver que aquellas son aceñas que están en el río, donde se muele el trigo? —Calla, Sancho —dijo don Quijote—, que aunque parecen aceñas no lo son, y ya te he dicho que todas las cosas trastruecan y mudan de su ser natural los encantos*.

## BIBLIOGRAFÍA

- APARICIO SÁNCHEZ, L. 2008. "Redes de abastecimiento y evacuación de aguas en los arrabales califales de Córdoba". En: *Arte, Arqueología e Historia*, 15. Córdoba, 237-256.
- ARGEMÍ, M.; M. BARCELÓ; P. CRESSIER; H. KIRCHNER y C. NAVARRO. 1995. "Glosario de términos hidráulicos". En: A. Malpica (coord.). *El agua en la agricultura de Al-Andalus*. Granada, Fundación El Legado Andalusi, 163-189.
- BAZZANA, A. y Y. MONTMESSIN. 2006. "Nā'āra et sāniya dans l'hydraulique agricole d'al-Andalus à la lumière des fouilles de 'Les Jovades' (Oliva, Valence)". En: P. Cressier (ed.). *La maîtrise de l'eau en al-Andalus. Paysages, pratiques et techniques*. Casa de Velázquez, Madrid, 209-287.
- CARO BAROJA, J. 1983. *Tecnología popular española*. Madrid, Editora Nacional.
- CASAL GARCÍA, T. 2008. "Características generales del urbanismo cordobés de la primera etapa emiral: El arrabal de Saqunda". En: *Anejos de Anales de Arqueología Cordobesa*. Área de Arqueología de la Universidad de Córdoba y Gerencia Municipal de Urbanismo del Ayuntamiento de Córdoba, 1. Córdoba, 109-134.
- CASTRO DEL RÍO, E. 2006. *El arrabal de época califal de la zona arqueológica de Cercadillas: la arquitectura doméstica*. Universidad de Córdoba, Córdoba, 196 p.
- CERVANTES, M. 1605. *Don Quijote de la Mancha*. Edición del Instituto Cervantes dirigida por Francisco Rico en 2005, Madrid.
- CÓRDOBA, R. 2004. "La noria de tiro en la Córdoba bajomedieval. Elementos y funciones". En: S. Gómez Navarro (coord.). *El agua a través de la historia*. Estudios de Historia I., Asociación "Arte, Arqueología e Historia", Córdoba, 79-96.

- CÓRDOBA, R.; A. ALBENDÍN; J.M. GARCÍA MUÑOZ y J. ORTIZ GARCÍA. 2004. *Puertos, azudes y norias. El patrimonio hidráulico histórico de Palma del Río (Córdoba)*. Fundación El Monte, Sevilla, 216 p.
- CÓRDOBA, R.; J. CUENCA; P. HERNÁNDEZ; J. ORTIZ; M.D. LÓPEZ-MEZQUITA; J.M. GARRIDO; F. CASTILLO y J. VARELA. 2008. *Los molinos hidráulicos del Guadalquivir en la ciudad de Córdoba. Estudio histórico y arquitectónico*. CEHOPU, Ministerio de Fomento, Madrid, 101 p.
- DEL PINO GARCÍA, J.L.; J. ROLDÁN-CAÑAS y M.F. MORENO-PÉREZ. 2011. "El agua y el riego en la Península Ibérica (SS. V-XV)". En: Roldán-Cañas, J., Chipana, R. (Coords.), 2011. *Sistemas ancestrales de riego a ambos lados del Atlántico*. Universidad de Córdoba. España, 63-232.
- GARCÍA TAPIA, N. 1997. *Los veintiún libros de los Ingenios y de las Máquinas de Juanelo, atribuidos a Pedro Juan de Lastanosa*. Diputación General de Aragón. Departamento de Educación y Cultura, Zaragoza, 279 p.
- GARCÍA TAPIA, N. 2005. "Los molinos en El Quijote y la técnica española de la época". En: J.M. Sánchez Ron (Dir.). *La Ciencia y El Quijote*. Editorial Crítica, Barcelona, 210-226.
- GARRIDO, J.M.; J. ROLDÁN y M.F. MORENO. 2007. "Comparación del rodezno con las turbinas hidráulicas". *Actas del 6º Congreso Internacional de Molinología*, Córdoba, España, 293-305.
- GIRÁLDEZ, J.V., J.L. AYUSO, A. GARCÍA, J.G. LÓPEZ y J. ROLDÁN. 1988. "Water harvesting in the semiarid climate of southeastern Spain". *Agricultural Water Management*, 14: 252-263.
- GLICK, T.F. 1979. *Islamic and Christian Spain in the early middle ages*. Princeton University Press, Londres.
- GLICK, T.F. 1988. *Regadío y Sociedad en la Valencia Medieval. Del Cenia al Segura*, Valencia, 413 p.
- GLICK, T.F. 1996. "Riego y tecnología hidráulica en la España Islámica: consideraciones metodológicas". En: C. Álvarez de Morales (ed). *Ciencias de la naturaleza en Al-Andalus. Textos y Estudios*. IV, C.S.I.C. Escuela de Estudios Árabes, Granada, pp: 71-91.
- GOBLOT, H. 1979. *Les Qanats. Une technique d'acquisition de l'eau*. École des hautes études en sciences sociales. Mouton Editeur, Paris
- GONZÁLEZ, J. 1945. *Los sellos concejiles de España en la Edad Media*. Hispania, V.
- GONZÁLEZ TASCÓN, I. 2008a. "Agua para ciudades y regadíos". En: *Ars Mechanicae. Ingeniería medieval en España*. Cehopu, Ministerio de Fomento, España, 69-98.
- GONZÁLEZ TASCÓN, I. 2008b. "La difusión medieval del molino hidráulico". En: *Ars Mechanicae. Ingeniería medieval en España*. Cehopu, Ministerio de Fomento, España, 99-117.
- IBN AL-AWAN. 2001. *El libro de agricultura de Al Awan. Edición y comentarios sobre la edición de Banqueri (siglo XVIII) por José Ignacio Cubero Salmerón*. Empresa Pública para el Desarrollo Agrario y Pesquero de Andalucía, Sevilla.
- JUANELO TURRIANO (Pseudo). 1983. *Los veintiún libros de los ingenios y las máquinas*. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid, 2 vols.
- LÓPEZ CAMACHO, B., I. DE BUSTAMANTE, y J.A. IGLESIAS. 2005. "El viaje de agua (qanat) de la Fuente Grande de Ocaña (Toledo): Pervivencia de una reliquia histórica". *Revista de Obras Públicas*, 3451: 43-54.
- LOSADA, A. 2004. "Espacios hidráulicos en Al-Andalus". *Actas del II Simposio Internacional "Repensar Al-Andalus a través del tiempo y el espacio: Agua y agricultura"*. Córdoba.
- MAZZOLI-GUINTARD, C. 2000. *Ciudades de al-Andalus. España y Portugal en la época musulmana (s. VIII-XV)*, ALMED, Granada.
- MINISTERIO DE FOMENTO. 1918. *Medios que se utilizan para suministrar el riego*. 2 vols. Madrid.
- MOLÉNAT, J.P. 2006. "Les moulins du Tage et de ses affluents dans la région toledane jusqu'à la fin du XV siècle". En: P. Cressier (ed.). *La maîtrise de l'eau en al-Andalus. Paysages, pratiques et techniques*. Casa de Velázquez, Madrid, 289-312.
- MOLINA, M.A. y S. NAVARRO. 2004. *Hidráulica menor. Aplicaciones didácticas*. Región de Murcia y Ayuntamiento de Murcia, 52 p.
- MORENO-PÉREZ, M.F.; J.M. GARRIDO y J. ROLDÁN-CAÑAS. 2010a. "Estudio hidráulico de los molinos de regolfo". *Actas del 7º Congreso Internacional de Molinología*, Zamora, España.

- MORENO-PÉREZ, M.F.; J.M. GARRIDO y J. ROLDÁN-CAÑAS. 2010b. "Automatismos de los molinos de rodezno horizontal". *Actas del 7º Congreso Internacional de Molinología*, Zamora, España.
- NIETO CUMPLIDO, 1998. *La Catedral de Córdoba*, Córdoba.
- PAVÓN MALDONADO, B. 1990. *Tratado de arquitectura hispano-musulmana. I. Agua*. CSIC, Madrid, 561 p.
- PERRAULT, C. 1683. *Compendio de los diez libros de arquitectura de Vitrubio. Traducido al castellano por Don Joseph Castañeda en 1761*. Imprenta de D. Gabriel Ramírez, Madrid.
- PIZARRO BERENGENA, G., 2014. *El abastecimiento de agua a Córdoba. Arqueología e Historia*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba. 405 p.
- PORRO, M.J. 1998. "Apuntes fluviales de geografía literaria cordobesa". *Boletín de la Real Academia de Córdoba, de Ciencias, Bellas Letras y Nobles Artes*, 135: 217-242.
- REYES, J.M. 2006. *Los molinos hidráulicos harineros de la provincia de Granada*. Editorial Axares, Granada, 249 p.
- ROLDÁN-CAÑAS, J.; L. PÉREZ URRESTARAZU y M.F. MORENO-PÉREZ. 2006. "Canalones hidráulicos en los tejados de la Mezquita de Córdoba". *Al-Mulk, Anuario de Estudios Arabistas*, 6: 59-67.
- ROLDÁN-CAÑAS, J.; M.F. MORENO-PÉREZ y J.L. DEL PINO GARCÍA. 2008. "El regadío sostenible en al-Andalus". *Estudios de Historia de España*, X: 13-36.
- ROLDÁN-CAÑAS, J. y M.F. MORENO-PÉREZ. 2010. "Water engineering and management in al-Andalus". En: Cabrera, E. y F. Arregui (eds): *Water engineering and management through time- Learning from history*. CRC Press. Londres. pp: 117-130.
- SAN ISIDORO DE SEVILLA. 2004. *Etimologías. Versión castellana y notas de J. Oroz y M.A. Marcos*. Biblioteca de Autores Cristianos, 647, Madrid.
- TORRES DELGADO, C. 2007. *Molinos y aceñas de la ciudad de Córdoba*. Diputación de Córdoba, 237 p.
- VALLEJO TRIANO, A. 2004. *Madinat al-Zahra. Guía oficial del conjunto arqueológico*. Junta de Andalucía, Consejería de Cultura, Sevilla,
- VIOLLET, P.L. 2007. *Water engineering in ancient civilizations. 5.000 years of history*. IAHR, Madrid, 322 p.